

**Jochem Ottersbach**

**Qualitätssicherung im Offsetdruck**  
**Densitometrie und Farbmeterik**

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL • Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG  
Düsselberger Straße 23 • 42781 Haan-Gruiten

Europa-Nr.: 37220

---

Autor:

Jochem Ottersbach, Arnberg

Verlagslektorat:

Dr. Astrid Grote-Wolff

Bildquellen:

Techkon GmbH, Königstein: 2.2, 3.2, 5.1, 5.3, 5.6, 6.1, 7.1, 7.2 a), 8.2, 12.7, 16.1

Heidelberger Druckmaschinen AG: 7.2 b), 12.1, 12.4, 12.5, 12.8, 15.2, 16.2

Das vorliegende Buch wurde auf der Grundlage der neuen amtlichen Rechtschreibung erstellt.

1. Auflage 2008

Druck 5 4 3 2 1

Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da bis auf die Behebung von Druckfehlern untereinander unverändert.

ISBN 978-3-8085-3722-0

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der gesetzlich geregelten Fälle muss vom Verlag schriftlich genehmigt werden.

© 2008 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten

<http://www.europa-lehrmittel.de>

Umschlaggestaltung:

Layout und Satz: Jochem Ottersbach, 59821 Arnberg

Druck:

## Vorwort

In der Druckindustrie hat die überwiegend visuelle Qualitätskontrolle von gedruckten Produkten Tradition. Im Zuge verfeinerter Technologien und damit verbundenen gesteigerten Qualitätsansprüchen setzte sich die densitometrische Kontrolle und Steuerung von Mehrfarbendruckern durch. Auch erste Standardisierungskonzepte und Normungen gingen damit einher. Diese werden in jüngster Zeit zunehmend durch farbmessische Messungen ergänzt.

Das vorliegende Buch „**Qualitätssicherung im Offsetdruck**“ richtet sich an Drucker/Druckerinnen aller Fachrichtungen in der Ausbildung sowie in der beruflichen Praxis. Es ist auf den Rahmenlehrplan für **Drucker/Druckerinnen** abgestimmt, in dem die Thematik der Qualitätskontrolle von gedruckten Produkten angemessene Berücksichtigung findet. Darüber hinaus stellt das Buch für **Mediengestalter Digital und Print**, die sich ebenfalls im Rahmen ihrer Ausbildung mit der Beurteilung der Qualität von Printprodukten befassen, eine wertvolle Hilfe dar.

Aufgrund seiner klaren, an der beruflichen Praxis ausgerichteten Struktur und der leicht verständlichen Darstellung der Inhalte kann das Buch sowohl als den Unterricht begleitendes Werk als auch im Selbststudium eingesetzt werden. Die reichhaltige Bebilderung erleichtert das Verständnis der anspruchsvollen technischen Zusammenhänge. Das Lernen wird durch zahlreiche Merksätze unterstützt. Die Aufgaben am Ende der Kapitel tragen zur Überprüfung und Anwendung der erworbenen Kenntnisse bei. Aufgrund des umfangreichen Sachwortverzeichnis können Fachbegriffe zügig nachgeschlagen werden. So kann Fachwissen im Hinblick auf die Abschlussprüfung oder bei konkreten Aufgabenstellungen in der beruflichen Praxis zielgerichtet wieder aufgefrischt werden.

Die **fachlichen Schwerpunkte** des Buches sind:

- Nach einer grundlegenden Einführung in die Qualität im Druck in Kapitel 1 befasst sich Kapitel 2 mit der Funktionsweise von Densitometern und ihrem Aufbau zur Dichtemessung.
- Die Kapitel 3 bis 5 beschreiben Möglichkeiten der Dichtemessung an Rasterfeldern zur Bestimmung von Tonwert, Tonwertzunahme und Druckkontrast, die Messung der Farbannahme und die Aussagefähigkeit der Kontrollfelder im Druckkontrollstreifen (Lernfeld 2.5).
- Kapitel 6 geht kurz auf die Durchlichtmessung ein, Kapitel 7 befasst sich mit den Anwendungsmöglichkeiten der Densitometrie in der Druckproduktion (Lernfeld 3.3).
- Ab Kapitel 8 wird die Farbmessung behandelt. Die Funktionsweise des Spektralfotometers wird erläutert.
- In Kapitel 9 und 10 geht es um die Berücksichtigung von Lichtarten und des menschlichen Sehvermögens bei der spektralen Farbmessung.
- Kapitel 11 beschreibt die Funktionsweise des Dreibereichs-Fotometers.
- Die Einordnung fotometrischer Messwerte in Farbbordnungssysteme erfolgt in Kapitel 12.
- Die Qualitätssicherung und -kontrolle durch Messverfahren zur Färbung im Druck werden in den Kapiteln 13 bis 16 mit farbmessischem Schwerpunkt abgedeckt (Lernfeld 3.4).
- Nach den Grundlagen des Soll-Istwert-Vergleichs und der spektralen Messung werden in diesen Kapiteln Möglichkeiten der Fortdruckkontrolle dargestellt.
- Aktuelle Empfehlungen des Prozessstandard Offsetdruck finden im Kapitel 17 Berücksichtigung.
- Kapitel 18 behandelt Eigenschaften und Prüfmethode für Normdruckfarben.

Wir wünschen unseren Leserinnen und Lesern viel Erfolg und Freude beim Einstieg in die Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten der densitometrischen und spektralfotometrischen Qualitätskontrolle. Hinweise und Ergänzungen, die zur Verbesserung und Weiterentwicklung des Buches beitragen, nehmen wir unter der Verlagsadresse oder per E-Mail ([lektorat@europa-lehrmittel.de](mailto:lektorat@europa-lehrmittel.de)) dankbar entgegen.

Mai 2008

Autor und Verlag

Die Verwendung nur eines grammatikalischen Geschlechts bei Berufs- und Gruppenbezeichnungen wurde im Hinblick auf den Lesefluss gewählt. Sie stellt keine Meinungsäußerung zur Geschlechterrolle dar.

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Grundlagen zur Bestimmung der Druckqualität</b>	<b>7</b>
1.1	Qualitätsaussagen für Druckprodukte	7
1.2	Abstrahlung von Licht durch Remission und Reflexion	9
1.3	Aufgaben	10
<b>2</b>	<b>Qualitätskontrolle durch Dichtemessung</b>	<b>11</b>
2.1	Funktionsweise des Densitometers	11
2.2	Optische Dichte	16
2.3	Grundlagen der Logarithmen (Exkurs)	18
2.4	Beispiele zur Berechnung von Dichtewerten	20
2.5	Funktion der Farbfilter im Densitometer	22
2.6	Funktion der Polarisationsfilter im Densitometer	26
2.7	Aufgaben	28
<b>3</b>	<b>Dichtemessung auf gerasterten Flächen</b>	<b>30</b>
3.1	Tonwerte von Rastern	30
3.2	Ermittlung der Tonwertzunahme im Druck	32
3.3	Messen und Berechnen des Druckkontrastes	35
3.4	Aufgaben	39
<b>4</b>	<b>Farbannaheverhalten im Druck</b>	<b>41</b>
4.1	Farbannahme im Nass-in-nass-Druck	41
4.2	Messen der Farbannahme	42
4.3	Aufgaben	44
<b>5</b>	<b>Einsatz von Druckkontrollstreifen</b>	<b>45</b>
5.1	Vollton- und Rasterfelder	45
5.2	Farbannahme- und Graubalancefelder	46
5.3	Schiebe- und Dublierfelder	47
5.4	Kopierfelder	47
5.5	Aufgaben	49
<b>6</b>	<b>Funktionsweise von Durchlichtdensitometern</b>	<b>50</b>
6.1	Transparenz	50
6.2	Durchlichtmessung	51
6.3	Aufgaben	51

<b>7</b>	<b>Qualitätskontrolle an Druckprodukten durch Densitometrie</b> .....	<b>52</b>
7.1	Dichtemessung auf Druckplatten .....	52
7.2	Densitometrische Messvorgänge .....	52
7.3	Densitometrische Fortdrucksteuerung .....	54
7.4	Grenzen der Densitometrie .....	56
7.5	Farbmetrik als Ergänzung der Densitometrie .....	57
7.6	Aufgaben .....	58
<b>8</b>	<b>Funktionsweise des Spektralfotometers bei der farbmetrischen Messung</b> .....	<b>60</b>
8.1	Strahlengang im Spektralfotometer .....	60
8.2	Darstellung von Farben als Remissionskurve .....	63
8.3	Aufgaben .....	68
<b>9</b>	<b>Bedeutung der Lichtarten für die Farbmetrik</b> .....	<b>70</b>
9.1	Charakteristik unterschiedlicher Lichtarten .....	70
9.2	Einbezug der Lichtart in die spektralfotometrische Messung .....	72
9.3	Aufgaben .....	74
<b>10</b>	<b>Umsetzung des menschlichen Sehvermögens in farbmetrische Werte</b> .....	<b>75</b>
10.1	Sehvermögen des Normalbeobachters .....	75
10.2	Berechnung von Normfarbwerten .....	79
10.3	Aufgaben .....	82
<b>11</b>	<b>Farbmetrische Messungen mit dem Dreibereichs-Fotometer</b> .....	<b>83</b>
11.1	Aufbau und Funktionsweise des Dreibereichs-Fotometers .....	83
11.2	Dreibereichsmessung am Beispiel von Gelb .....	85
11.3	Aufgaben .....	86
<b>12</b>	<b>Darstellung von Farben in Farbordnungssystemen</b> .....	<b>87</b>
12.1	Umrechnen von Normfarbwerten in Normfarbwertanteile .....	87
12.2	Darstellung der Normfarbwertanteile in der CIE-Normfarbtafel .....	88
12.3	Von der Normfarbtafel zum CIE-Lab-System .....	95
12.4	Aufgaben .....	101

<b>13</b>	<b>Qualitätssteuerung durch Soll- und Istwertvergleich</b>	<b>104</b>
13.1	Farbführung im Druck nach Sollwertvorgaben	104
13.2	Berechnung von Farbabständen	105
13.3	Farbmetrik beim Erstellen von Mischfarben	109
13.4	Aufgaben	111
<b>14</b>	<b>Messung der Spektraldichte</b>	<b>112</b>
14.1	Prinzip der spektralen Dichtemessung	112
14.2	Spektrale Dichtemessung am Beispiel von Cyan	112
14.3	Aufgaben	115
<b>15</b>	<b>Anwendung der Farbmetrik im Mehrfarbendruck</b>	<b>116</b>
15.1	Färbungsregelung durch Soll-Istwert-Vergleich	116
15.2	Farbraum-Transformationen	118
15.3	Aufgaben	120
<b>16</b>	<b>Farbmetrische Möglichkeiten der Fortdruckkontrolle</b>	<b>121</b>
16.1	Kontrollfelder zur spektralfotometrischen Messung	121
16.2	Off- und Online-Messungen mit Spektralfotometern	122
16.3	Aufgaben	125
<b>17</b>	<b>Qualitätssichernde Empfehlungen im Prozessstandard Offsetdruck</b>	<b>126</b>
17.1	Festlegung von Papiertypen	126
17.2	Bedeutung der Tonwertzunahme im Druck	126
17.3	Kontrolle der Volltonfärbung	130
17.4	Beurteilung der Farbbalance	132
17.5	Aufgaben	133
<b>18</b>	<b>Normdruckfarben</b>	<b>135</b>
18.1	Farbmetrische Prüfung von Normdruckfarben	136
18.2	Prüfung der Transparenz von Normdruckfarben	137
18.3	Aufgaben	139
	<b>Anhang</b>	<b>141</b>
1.	Formblatt Druckkenlinie	142
2.	Formblatt Remissionskurve	143
3.	Formblatt CIE-Lab-System	144
4.	Formblatt CIE-Normfarbtafel	145
	<b>Sachwortverzeichnis</b>	<b>146</b>

# 1 Grundlagen zur Bestimmung der Druckqualität

Drucksachen in hoher, gleich bleibender und nachprüfbarer Qualität zu produzieren, stellt zunehmende Ansprüche an alle Bereiche der mehrstufigen Produktionskette des Industriezweigs der Druck- und Medientechnik. Messtechnische Verfahren lösen immer mehr die rein visuellen und gefühlsmäßigen Prozesssteuerungen ab, die gerade diesen Produktionsbereich in der Vergangenheit geprägt haben und dies heutzutage immer noch tun.

## 1.1 Qualitätsaussagen für Druckprodukte

Die **Qualität von Druckprodukten** zu messen und zu sichern, ist schwieriger als bei den Produkten vieler anderer Industriezweige. So lassen sich oftmals Qualitätsaussagen über bestimmte Werkstücke machen, indem man Längen-, Gewichts- oder Oberflächenmessungen durchführt und diese in vorgegebene Toleranzbereiche einordnet. Drucksachen dagegen, besonders wenn sie farbig sind, sind unmittelbar kaum auszumessen, zu vergleichen oder objektiv zu beurteilen. Oft spielen geschmackliche Kriterien dabei eine Rolle. Gedruckte Bilder können z. B. als schön empfunden werden, obwohl sie stark von ihrer Vorlage abweichen. Zudem sind Drucksachen in Serie hergestellte Produkte, die dem Zwang zu einheitlichem Aussehen unterliegen, also keine Produktionsschwankungen zulassen.



Zunehmende **Qualitätsansprüche** an Druckprodukte erfordern objektiv messbare Prüfverfahren, damit die Produkte den an sie gestellten Anforderungen gerecht werden.

**Qualität** beschreibt die Beschaffenheit eines Produktes gemessen an seinen vorausgesetzten Eignungen und an den Bedürfnissen des Auftraggebers. Letztlich ist Qualität das, was der Kunde will. Um jedoch dessen Vorstellungen im Druckprozess umzusetzen, sind objektive, möglichst zahlen- und wertemäßig nachvollziehbare Kriterien unverzichtbar geworden. Oft ist es so, dass auch die Grenzen der eingesetzten Technik aufgezeigt werden müssen. Eine Werbung mit Bildern kann auf Zeitungsdruckpapier bei weitem nicht so vorlagengetreu wiedergegeben werden wie auf Kunstdruckpapier. Dies muss vorab dem Kunden u. U. deutlich gemacht werden. Dazu sind technische **Proofverfahren** notwendig, die diese Verhältnisse simulieren können. Abbildung 1.1 zeigt die Wirkung eines Bildes auf Zeitungspapier und auf Kunstdruckpapier gedruckt im Vergleich. Setzt man

Beurteilen von Druckqualität

Qualität von Druckprodukten

**Proofverfahren simulieren auf Bedruckstoffen oder Bildschirmen das spätere Druckergebnis.**

optimalen Zustand und Einsatz von Materialien und Maschinen voraus, zeigt das Bild 1.1 a) als Ergebnis des Zeitungsdrucks angemessene Qualität. Diese mit dem Aussehen des Kunstdruckbildes 1.1 b) zu vergleichen, ist unsinnig, weil es unter völlig anderen Produktionsbedingungen entstanden ist.

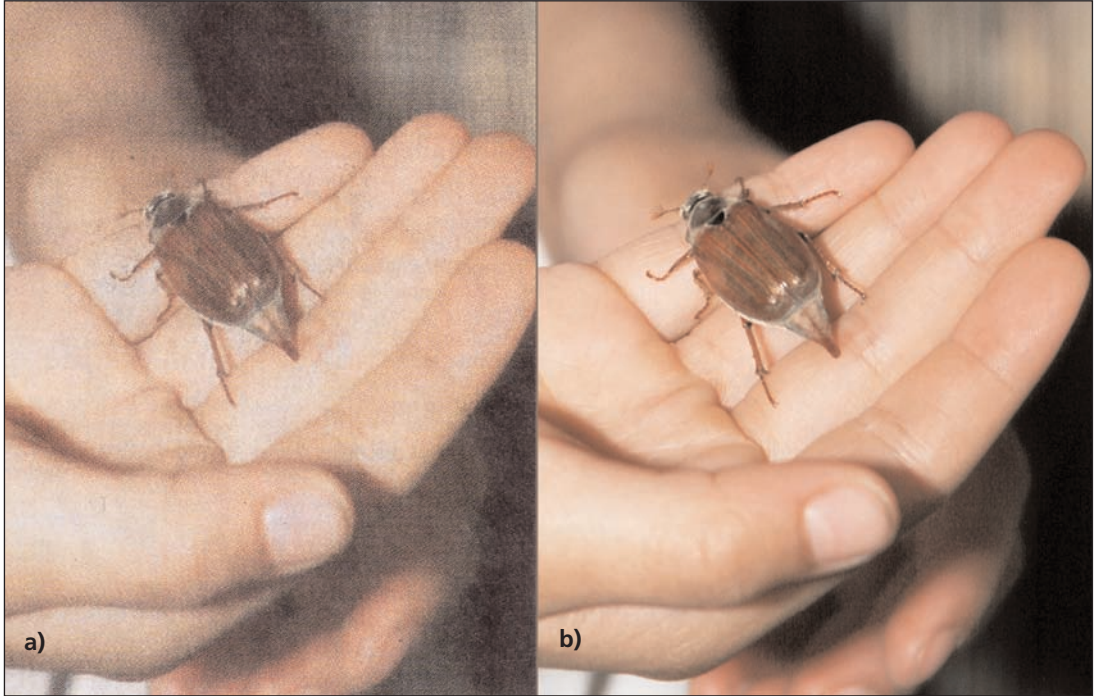


Abb. 1.1 Bildwirkung im a) Zeitungsdruck und b) auf Kunstdruckpapier

Vielfalt der Druckprodukte

Schließlich ist bei der Bewertung der Druckqualität auch die ungeheure Vielfalt der Druckprodukte zu berücksichtigen. Abbildung 1.2 zeigt nur einen kleinen Ausschnitt der riesigen Produktpalette der Druck- und Medienindustrie. Jede dieser abgebildeten Drucksachen hat ihr eigenes Produktionsverfahren und spezifische Herstellungsmerkmale, die wiederum unterschiedliche Qualitätsmaßstäbe mit sich bringen.

Färbung ist der visuell erkennbare Farbauftrag durch die Druckmaschine.

Qualitätsaussagen an Druckproduktionen sind auch deswegen schwierig, weil sie durch das Zusammenspiel von Druckvorstufe, Druckmaschine, Druckfarbe, Bedruckstoff und äußeren Betrachtungsbedingungen durch eine Vielzahl von Umständen und beteiligten Produktionsstufen entstehen. Dabei ist innerhalb dieses Prozesses die **Färbung** als wichtiger Faktor meist größeren Schwankungen unterworfen. Gerade im Mehrfarbendruck ist die Anpassung der normalerweise vier Farben ausschlaggebend für das gewünschte Druckergebnis.






Abb. 1.2 Ausschnitt aus der riesigen Palette der Druckprodukte

Ein geschulter Drucker ist in der Lage, dieses Problem visuell hervorragend in den Griff zu bekommen. Die Einschätzung, ob die Färbung der Auflagebogen z. B. mit der des **OK-Bogens** übereinstimmt, gehört zu seinem Berufsalltag. Allerdings ist es der sich zunehmend verfeinernden Messtechnik möglich, die Druckqualität noch sensibler zu prüfen und darzustellen, als es der Fachmann kann. Der Zwang zum Einsatz dieser qualitätssichernden Technik wird immer dringlicher, um den ständig strenger werdenden Maßstäben gerecht zu werden.

**OK-Bogen:** Druckbogen, dessen Färbung durch eine dazu autorisierte Person als verbindlich für die Auflage abgezeichnet wurde

 Das Ergebnis der **Farbgebung** beim Drucken ist entscheidendes Qualitätsmerkmal der Druckprodukte.

## 1.2 Abstrahlung von Licht durch Remission und Reflexion

In der heutigen Druck- und Medienindustrie kontrolliert und sichert man die Druckqualität hinsichtlich der Färbung mithilfe zweier Verfahren. Neben der schon fast klassischen **Dichtemessung** setzt sich parallel dazu die **Farbmetrik** durch. Weil Druckprodukte immer der visuellen Betrachtung und Beurteilung der Kunden unterliegen, was Licht voraussetzt, wertet sowohl die Densitometrie als auch die Farbmetrik Lichterscheinungen aus, die von Druckfarbenschichten und anderen Materialien zurückgeworfen werden. Dieses

Qualitätskontrolle durch Densitometrie und Farbmetrik

**Reflexion:** spiegelndes Zurückwerfen des Lichts von Oberflächen

**Remission:** Zurückwerfen von Licht, das durch Eindringen mit dem Material in Wechselwirkung getreten ist

„Zurückwerfen“ kann physikalisch sowohl mit Reflexion als auch mit Remission bezeichnet werden. Der Unterschied besteht grundsätzlich darin, dass bei der **Reflexion** Licht direkt von der Oberfläche, also spiegelnd, abgestrahlt wird, während bei der **Remission** Licht aus dem Materialinneren herauskommt, nachdem es in Wechselwirkung mit den farbgebenden Substanzen getreten ist. Da Letzteres bei Druckfarben der Fall ist, erscheint der Begriff Remission hier angebracht, auch wenn unter anderem in den neueren ISO-Normen zur Farbmeterik plötzlich von Reflexion gesprochen wird, obwohl bisher in den meisten drucktechnischen Abhandlungen und in der Fachsprache durchweg Remission verwendet wurde. In den weiteren Ausführungen dieses Buches wird der Begriff Remission benutzt, weil er technisch angemessener erscheint. Das gilt auch für abgeleitete Begriffe wie z. B. Remissionsgrad.



Wenn es in diesem Buch darum geht, dass Licht von Druckfarbschichten abgestrahlt wird, wird der Begriff **Remission** verwendet.

---

### 1.3 Aufgaben

1. Ein Drucker ist normalerweise in der Lage, durch ständigen visuellen Vergleich mit seiner farbverbindlichen Vorlage (Andruck, OK-Bogen) Schwankungen im Fortdruck zu erkennen und zu minimieren. Welchen Vorteil bietet Messtechnik hinsichtlich der Qualitätssicherung bei Druckprodukten?
2. Definieren Sie den Begriff „Qualität“ von Druckprodukten.
3. Aufgrund welcher technischen und materiellen Gegebenheiten ist die Bildwirkung im Zeitungsdruck im Vergleich schlechter als die auf Kunstdruckpapier?
4. Licht wird in Form von Glanz von der Oberfläche einer Drucksache abgestrahlt. Nennen Sie den physikalisch richtigen Begriff für diese Erscheinung.
5. Was unterscheidet in physikalischer Hinsicht die Remission von der Reflexion?

## 2 Qualitätskontrolle durch Dichtemessung

Weil der Fortdruckprozess weitgehend durch die Farbführung in den einzelnen Druckwerken der Druckmaschine bestimmt ist, setzen an dieser Stelle die wesentlichen qualitätssteuernden Maßnahmen an. Darüber hinaus ist man bestrebt, auch vorausgehende Produktionsstufen und den Materialeinsatz standardisiert ablaufen zu lassen.

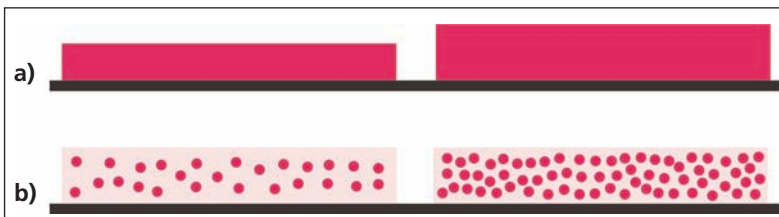
Im Offsetdruck und bei anderen Druckverfahren beeinflusst man die gedruckten **Schichtdicken** der Teilfarben, um im Zusammendruck die angestrebte Qualität zu realisieren. Im Tief- und Flexodruck, wo Schichtdicken kaum zu variieren sind, erreicht man dieses Ziel durch die **Veränderung der Pigmentierung** der Druckfarbe meist mittels **Verschnittzugabe**.

**Verschnitt** ist im Prinzip pigmentfreie Druckfarbe. Durch Zugabe wird die Pigmentierung einer Fortdruckfarbe herabgesetzt.

### 2.1 Funktionsweise des Densitometers

Variation der gedruckten Schichtdicke einerseits und Veränderung der Pigmentkonzentration andererseits innerhalb der Druckfarbe bewirken eine Schwankung der **optischen Dichte**. An ihr lassen sich solche Färbungsveränderungen erkennen und messen. Deutlich wird diese Größe, wenn man sich vorstellt, dass man eine Druckfarbenschicht wie eine transparente Folie von der Oberfläche des Bedruckstoffs abziehen könnte, um sie vor eine Lichtquelle gehalten zu beurteilen. Je dicker diese „abgezogene“ Schicht ist, bzw. umso mehr Pigmente sie enthält, desto weniger Licht lässt sie hindurch. Sie erscheint dem Betrachter dichter (vgl. Abbildung 2.1). Dies gilt es zahlenmäßig auszudrücken, um den Druckprozess hinsichtlich der richtigen Schichtdicke zu stabilisieren. Das setzt den Einsatz geeigneter Messgeräte voraus.

Optische Dichte



**Abb. 2.1** Dichte-Erhöhung bei Druckfarben durch a) Schichtdickenzunahme und b) Vergrößerung der Pigmentkonzentration

Durch **Rastern gedruckter Flächen** reduziert sich der wahrnehmbare Tonwert, wodurch ein verringerter Dichteindruck erzeugt

Tonwerte von Rastern

wird, sodass die Dichtemessung an gerasterten Bildern ebenfalls große Bedeutung hat.

Die **optische Dichte** einer Druckfarbenschicht beschreibt deren Durchlassvermögen gegenüber Licht. Sie hängt grundsätzlich von der Schichtdicke und/oder von der Pigmentkonzentration ab.

**Densitometer:** Messgeräte zur Erfassung der Dichte einer Druckfarbenschicht

Densitometrie im Offsetdruck

Das Messgerät zum Erfassen der optischen Dichte ist das **Densitometer** (vgl. Abbildung 2.2). Allerdings ermöglichen die damit gemessenen Dichtewerte noch keine Aussage über die produzierte Qualität. Sie müssen erst in ein System eingeordnet werden, um sie qualitätssichernd und -steuernd einzusetzen. Solche Systeme werden seit Jahrzehnten in der Druckindustrie angewendet und sind ständig weiter entwickelt worden. Insbesondere im Offsetdruck hat die Densitometrie große Bedeutung erlangt, weil hier im Vergleich zu anderen Hauptdruckverfahren die Färbung am unstabilsten ist. Hinzu kommen die Einflüsse des Feuchtmittels, dessen Einsatz für dieses Druckverfahren charakteristisch ist. Daher beziehen sich die in diesem Buch dargestellten Zusammenhänge weitgehend auf den Offsetdruck, zumal die Anfänge qualitätssichernder Maßnahmen und die von Standardisierungskonzepten in diesem Verfahrensbereich stattgefunden haben und ständig weiter entwickelt wurden.



**Abb. 2.2 Handdensitometer**

Bei der Densitometrie geht es darum, die Lichtdurchlässigkeit bzw. die Lichtundurchlässigkeit als Maßstab der optischen Dichte festzustellen. Daher verfügt das Densitometer über eine Lichtquelle. Deren Licht wird durch eine Optik gebündelt und auf ein außerhalb des Beschnittes mitgedrucktes 3 bis 6 mm breites Messfeld innerhalb eines Druckkontrollstreifens gestrahlt.

Trifft dieses Licht auf die Oberfläche einer gedruckten Farbschicht, wird ein Teil absorbiert, ein Teil wird direkt von der Oberfläche in Form von Glanz remittiert und ein größerer Teil geht mehr oder weniger gebrochen durch die Farbschicht hindurch. Nur der Teil, der die Farbschicht vollständig durchdringt, gibt verwertbare Aufschlüsse hinsichtlich der optischen Dichte. Denn von dieser hängt es ab, in wie weit dieses Licht Widerstände findet, wenn es die Farbschicht durchdringt. Dies ist, nochmals erwähnt, abhängig von der Schichtdicke und/oder der Pigmentkonzentration.

Verhalten von eingestrahlem Licht bei Druckfarbschichten



Für die **Dichtemessung** kann nur das Licht, das die Farbschicht bis zum Bedruckstoff durchdrungen hat, ausgewertet werden.

Eine **Druckfarbschicht** besteht hauptsächlich aus einer Harzschiicht, die im Prinzip farblos ist und in die die farbgebenden Pigmente eingebettet sind. Das Messlicht kann das Harz fast ungehindert durchdringen. Es trifft dabei aber ständig auf die winzigen pulverförmigen Pigmentteilchen. Dies natürlich umso öfter, je dicker die Druckfarbschicht ist, bzw. je größer die Pigmentkonzentration ist, die in ihr enthalten ist.

Hauptbestandteile der Druckfarbe

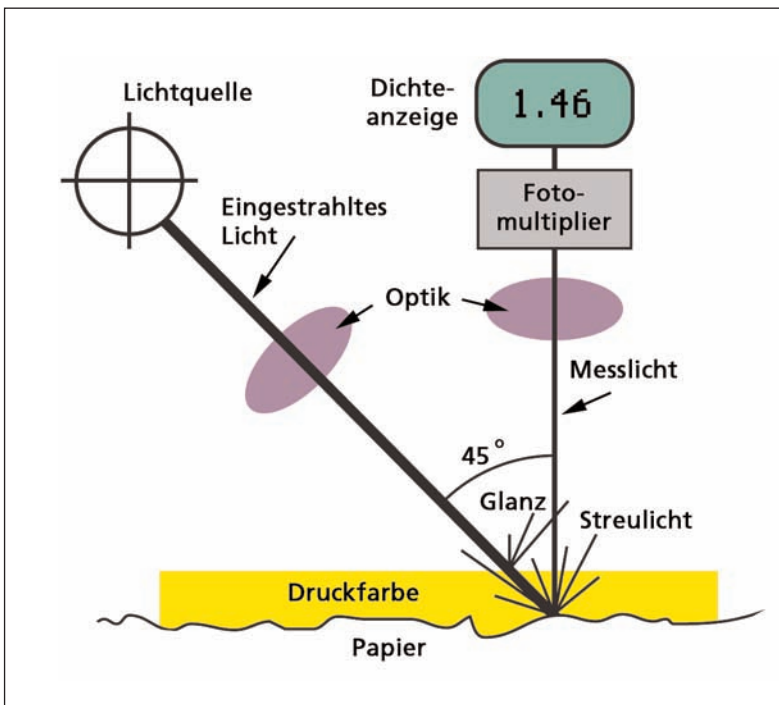


Abb. 2.3 Aufbau und Funktionsweise des Densitometers

Nach Durchdringung der Farbschicht kommt das Licht an der Bedruckstoffoberfläche an, auf der die Druckfarbe aufgedruckt ist.

**Weißgrad:** Farbcharakteristik der weißen Papieroberfläche

45°-Messgeometrie

Ein **Fotomultiplier** wandelt Lichtenergie in elektrische Energie um, die durch eine externe Lichtquelle verstärkt wird.


Auch hier wird ein Teil absorbiert und der Rest mehr oder weniger gestreut remittiert, was vom **Weißgrad** und der Glätte abhängt.

Das remittierte Licht durchquert die Farbschicht nochmals von unten nach oben und wird nach seinem Austritt im Messgerät optisch gebündelt. Um möglichst wenig Glanzlicht aufzufangen, haben die Densitometer eine **45°-Messgeometrie**. Entweder wird das Licht mit 0° eingestrahlt und im 45°-Winkel aufgefangen oder umgekehrt (vgl. Abbildung 2.3).

Ein im Messgerät eingebauter **Fotomultiplier** misst die vom Densitometer empfangene Lichtenergie und setzt sie in entsprechend große elektrische Stromenergien um, die dann den Maßstab für die Dichtewerte bilden. Ein solcher Fotomultiplier arbeitet zunächst nach dem Prinzip der Fozelle. Diese wandelt empfangene Lichtenergien in entsprechende Stromstärken um. Da diese elektrische Energie jedoch sehr gering ist, wird sie durch eine von außen angeschlossene zusätzliche Stromquelle verstärkt, um sie messtechnisch besser verwertbar zu machen.

Die densitometrische Messung ist grundsätzlich ein Vergleich zwischen der eingestrahnten Lichtenergie und der empfangenen Lichtenergie nach Durchqueren der zu messenden Farbschicht. Dadurch wird ermittelt, welches Maß an Licht die Farbschicht aufgrund ihrer Dichte verschluckt hat.

---

 Das **Densitometer** vergleicht die remittierte Lichtmenge mit der eingestrahnten, um den Lichtanteil zu messen, der von der Farbschicht absorbiert wurde.

---

Glanzerscheinung an der Farboberfläche

Eigenfarbe und Rauigkeit der Bedruckstoffoberfläche

Komplizierter wird die Messung dadurch, dass die Oberfläche der Farbschicht schon Licht in Form von Glanz abstrahlt, die Bedruckstoffoberfläche eine Eigenfärbung aufweist und dadurch auch Licht absorbiert, und dass die Rauigkeit des Bedruckstoffs das Licht gestreut remittiert, sodass nicht alles vom Densitometer erfasst wird. Schließlich kann zur Auswertung nur das Licht herangezogen werden, das über die 45°-Geometrie zwischen Ein- und Abstrahlung tatsächlich ins Messgerät hineingelangt. Dies ist aber nur ein Bruchteil von der Lichtenergie, die aus der zu messenden Druckfarbenfläche herauskommt. Der andere Teil geht gewissermaßen am Messgerät vorbei.

Messen auf mattschwarzem Untergrund

Densitometrische Messungen auf Druckbogen sollten immer nur dann ausgeführt werden, wenn diese auf einer **mattschwarzen Unterlage** liegen. Dadurch werden rückseitige Druckbilder auf der



Vorderseite des Bogens optisch unterdrückt, die auf weißer Unterlage wegen der Transparenz des Papiers eventuell sichtbar würden.



Bei Dichtemessungen sollen die Druckbogen auf einer **matt-schwarzen Unterlage** liegen, um Durchscheinen des rückseitigen Druckbildes zu unterdrücken.

Gegebenheiten wie Glanzerscheinungen, Absorptions- und Remissionseigenschaften der eingesetzten Bedruckstoffe und vom Densitometer nicht erfasste Lichtanteile müssen bei der densitometrischen Messung unbedingt ausgeschaltet werden, um objektive Dichteausagen zu bekommen. Dies geschieht durch eine **Nullkalibrierung** auf der farbfreien Bedruckstoffoberfläche, dem so genannten Papierweiß. Auch die leichte Verschwärzlichung, die beim Messen auf schwarzer Unterlage eintritt, wird dadurch kompensiert.

In der fachlichen Umgangssprache sagt man für **Nullkalibrierung** fälschlicherweise auch Nulleichung.

Das Densitometer wird vor der eigentlichen Farbdichtemessung auf eine unbedruckte Stelle des Auflagenpapiers gestellt und dort ein Messvorgang ausgeführt. Die remittierte Lichtenergie, die dabei im Messgerät erfasst wird, wird rechnerisch mit 100 % gleichgesetzt. Dadurch strahlt die farbfreie Bedruckstoffoberfläche theoretisch die gesamte Lichtmenge wieder ab, die vom Densitometer eingestrahlt wurde. Somit sind sämtliche Einflüsse, die nicht auf die Dichte der Druckfarbe zurückzuführen sind, messtechnisch ausgeschaltet.

Nullkalibrierung auf Papierweiß

Erfolgt nun anschließend die eigentliche Dichtemessung auf einer gedruckten Farbschicht, vergleicht der Rechner im Messgerät die von der Farbe remittierte Lichtenergie mit der als 100 % definierten eingestrahlten Lichtmenge. Das zur Dichtemessung ausgewertete Licht ist also immer eine Teilmenge von 100 %.



Vor der eigentlichen Dichtemessung muss mit dem Densitometer eine **Nullkalibrierung auf Papierweiß** durchgeführt werden. Dadurch wird die abgestrahlte Lichtmenge mit der vom Densitometer eingestrahlten Lichtmenge rechnerisch gleichgesetzt. Somit werden alle Einflüsse, die nicht auf die Dichte der Druckfarbe zurückzuführen sind, ausgeschaltet.

Das mathematische Verhältnis der remittierten zur eingestrahlten Lichtmenge ist der **Remissionsgrad** der gemessenen Druckfarbschicht. Er wird mit dem griechischen Buchstaben  $\beta$  (Beta) bezeichnet. Es gilt :

Remissionsgrad  $\beta$

$$\text{Remissionsgrad } \beta = \frac{\text{remittierte Lichtmenge in \%}}{\text{eingestrahlte Lichtmenge (100 \% )}}$$

Remittiert eine Druckfarbe nach der Nullung auf Papierweiß z. B. 25 % Licht im Vergleich zum theoretisch eingestrahlenen 100-prozentigen Referenzweiß, gilt für den Remissionsgrad:

$$\beta = \frac{25 \%}{100 \%} = 0,25$$

Die Remission einer Druckfarbe wird mit zunehmender Schichtdicke geringer, weil dichtere Farbschichten weniger Licht durchlassen. Der Remissionsgrad ist somit umgekehrt proportional zur Schichtdicke. Deshalb rechnet man mit dem Kehrwert des Remissionsgrades, nämlich mit  $(1 : \beta)$ . Dieser Kehrwert wird im Rahmen der Auflicht-Dichtemessung auch als **Opazität** bezeichnet. Grundsätzlich ist damit die Lichtundurchlässigkeit eines Stoffes, in diesem Fall einer Druckfarbschicht, gemeint. Die Opazität als Kehrwert des Remissionsgrades bildet die Grundlage für jede Dichtemessung.

Opazität: Kehrwert des Remissionsgrades



$$\text{Opazität} = \frac{1}{\beta} = \frac{\text{eingestrahelte Lichtmenge (100 \%)}}{\text{remittierte Lichtmenge in \%}}$$

Bei dem obigen Beispiel rechnet das Densitometer also:

$$\frac{1}{\beta} = \frac{100 \%}{25 \%} = 4$$

## 2.2 Optische Dichte

Der gemessene Remissionsgrad und auch die Opazität als sein Kehrwert werden nicht im Display des Densitometers angezeigt, denn man geht beim Verfahren der Farbdichtemessung einen Schritt weiter, indem man die Eigenart des **menschlichen Sehvermögens** mit einbezieht. Bedenkt man, dass das Messen grundsätzlich das zahlenmäßig ausdrücken soll, was der Mensch visuell prüfend wahrnimmt, ist dieser Schritt unumgänglich. Das menschliche Empfinden für Lichterscheinungen vollzieht sich allerdings in einem **logarithmischen Maßstab** (vgl. Abbildung 2.4).

Menschliches Sehvermögen im logarithmischen Maßstab

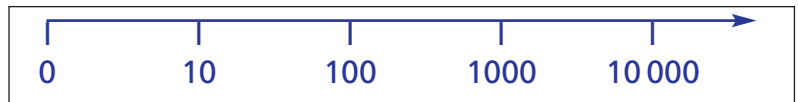


Abb. 2.4 Logarithmischer Maßstab

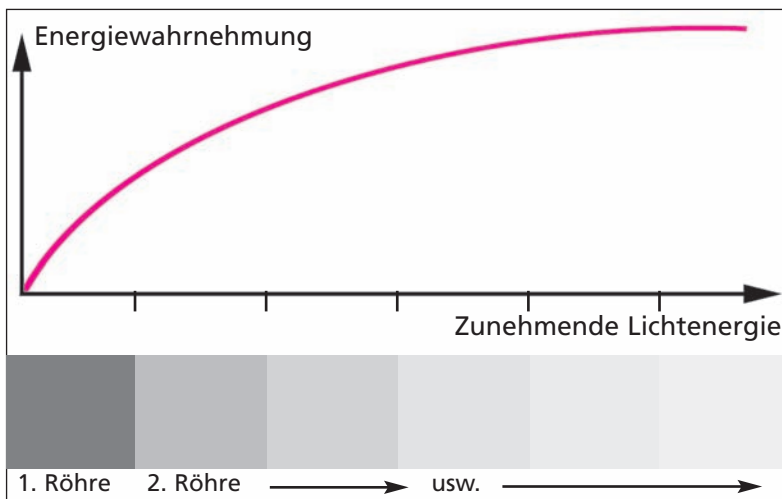
Diese Tatsache ist uns im Alltag nicht bewusst, wird aber an folgendem gedanklichem Beispiel deutlich. Man stelle sich einen Leuchtisch mit der üblichen Opalglassoberfläche vor. Im Inneren des



Tisches befindet sich eine beliebig große Anzahl Leuchtstoffröhren mit gleichen Wattzahlen, die man einzeln nacheinander einschalten kann. Wird die erste Röhre in Betrieb gesetzt, erkennt man merkliche Helligkeit auf der Tischoberfläche. Wird eine zweite hinzugeschaltet, wird die empfundene Helligkeit deutlich größer. Dies wird auch beim Einschalten weiterer Leuchtstoffröhren so sein. Stellt man sich jedoch vor, dass bereits 99 dieser Röhren brennen und die 100-ste kommt hinzu, wird man keinen Helligkeitszuwachs mehr erkennen, obwohl der Schritt von der 99-ten zur 100-ten energiemäßig genau so groß ist wie der von der ersten zur zweiten. Das macht deutlich, dass der Mensch zunehmende Lichtenergie immer undifferenzierter wahrnimmt und zwar im logarithmischen Maßstab der Abbildung 2.4.

Wahrnehmungsvermögen des Menschen für zunehmende Lichtenergie

Diesen Sachverhalt verdeutlicht auch die Abbildung 2.5. Mit zunehmender Lichtenergie steigt die Wahrnehmungskurve zunächst relativ stark an, wird dann flacher und bei Energiezuwachsen auf hohem Niveau fast zur Geraden. Die Graufelder darunter zeigen, dass bei zunehmender Lichtenergie die wahrnehmbaren Unterschiede immer geringer werden.



**Abb. 2.5** Geringer werdendes Unterscheidungsvermögen des Menschen bei steigender Lichtenergie

Ähnliches gilt auch für das akustische Wahrnehmungsvermögen des Menschen und auch für andere, z. B. für seine Temperaturempfindung.



Das **menschliche Sehvermögen** verarbeitet Zuwächse von Lichtenergien im logarithmischen Maßstab.

Aus diesem Grund gibt das Densitometer Farbdichten nicht in Form des gemessenen Remissionsgrades bzw. seines Kehrwerts an, sondern die Opazität wird direkt im Gerät logarithmiert. Das Ergebnis, die **optische Dichte**, wird angezeigt:

Definition der optischen Dichte

Optische Dichte =  $\lg \frac{1}{\beta}$ , bzw. Optische Dichte =  $\lg$  Opazität



Man erhält die **optische Dichte**, indem der Kehrwert des Remissionsgrades logarithmiert wird. Sie ist definiert als dekadischer Logarithmus der Opazität bzw. des Kehrwerts des Remissionsgrades.

---

Um diese Eigenart von Dichtewerten richtig zu verstehen und einordnen zu können, soll im folgenden Kapitel kurz auf die grundlegende Mathematik der Logarithmen und ihre Herkunft eingegangen werden.

## 2.3 Grundlagen der Logarithmen (Exkurs)

Jede Rechenart hat Umkehrungen. Umkehrung der Addition ist die Subtraktion. Ein Beispiel für eine Addition wäre:

$$10 + 2 = 12$$

Von dem Ergebnis 12 dieses Beispiels kommt man rückwärts rechnend durch Subtraktion wieder auf die beiden Ausgangszahlen 10 und 2:

$$12 - 2 = 10 \text{ bzw. } 2 - 10 = 2$$

Das Beispiel zeigt, dass die Addition zwei Umkehrungen hat, die aber zueinander gleichwertig sind, weil es sich bei beiden um Subtraktionen handelt.

Ebenso verhält es sich mit der Multiplikation:

$$10 \cdot 2 = 20$$

Von der 20 ausgehend erreicht man umgekehrt durch Division die 10 und die 2:

$$20 : 2 = 10 \text{ bzw. } 20 : 10 = 2$$

Auch diese zwei Umkehrungen sind in sich gleichwertig, denn es sind beide Divisionen.

Rechenarten und ihre Umkehrungen

Die nächst höhere Rechenart ist das Potenzieren, z. B.:

$$10^2 = 100$$

Will man von dem Ergebnis 100 zur 10 gelangen, wendet man die Umkehrung des Wurzelziehens an:

$$\sqrt{100} = 10$$

Wurzelziehen

Um aber von der 100 auf die Hochzahl 2 zu kommen, zeigt sich eine Besonderheit des Potenzierens im Vergleich zu den anderen Rechenarten: Das Potenzieren hat zwei unterschiedliche Arten der Umkehrung. Erfragt man nämlich die Hochzahl (hier 2), erreicht man das durch Logarithmieren.

Logarithmieren

$$\lg 10 = 2$$

**Logarithmieren** ist also eine der beiden Umkehrungen des Potenzierens, und zwar diejenige, die die Hochzahl erfragt. Dabei werden im Folgenden immer Logarithmen mit der Basis 10 vorausgesetzt, also so genannte dekadische Logarithmen, die auch in der Technik Anwendung finden.

**Logarithmieren** ist eine mathematische Umkehrung des Potenzierens, bei der die Hochzahl erfragt wird.

Potenzieren	Logarithmieren
$10^0 = 1$	$\lg 1 = 0$
$10^1 = 10$	$\lg 10 = 1$
$10^2 = 100$	$\lg 100 = 2$
$10^3 = 1000$	$\lg 1000 = 3$
$10^4 = 10\,000$	$\lg 10\,000 = 4$

Logarithmischer und linearer Maßstab

**Abb. 2.6 Potenzieren und Logarithmieren**

Die Abbildung 2.6 verdeutlicht den Zusammenhang von Potenzieren und Logarithmieren. Die Zahlenstrahlen zeigen den logarithmischen Maßstab links und den linearen rechts.

Das Problem beim Logarithmieren ist, dass man die Logarithmen der nicht mehr glatten Zahlen, die z. B. zwischen denen in der Tabelle liegen, nur sehr kompliziert errechnen kann. Der Logarithmus von 5

liegt zwar in der Mitte von 1 und 10, ist jedoch nicht 0,5, sondern etwa 0,7, weil er dem eigentümlichen verzerrten Maßstab unterliegt. Der Logarithmus einer Zahl kann jedoch leicht aus dem Taschenrechner abgerufen werden. Auch das Densitometer verfügt über einen Rechner, der gemessene Opazitäten zu Dichtewerten logarithmiert.



Die wesentlichen **mathematischen Operationen bei der Dichtemessung** sind Folgende: Densitometer erfassen Remissionsgrade, bilden ihren Kehrwert (Opazität) und logarithmieren diesen. Das Ergebnis ist die optische Dichte.

---

## 2.4 Beispiele zur Berechnung von Dichtewerten

Um die **Größenordnung der Dichtewerte** besser einordnen zu können, sollen einige Beispiele angeführt werden (vgl. Abbildung 2.7).

Nullkalibrierung auf  
Papierweiß

Beispiel 1: Bei der Nullkalibrierung auf Papierweiß sind eingestrahlichtes Licht und remittiertes Licht gleich groß und jeweils 100 %, weil das Messlicht rechnerisch durch den Bezug auf den absoluten Weißstandard auf diese Größe gesetzt ist.

Für den Kehrwert der Remission, also die Opazität, gilt somit:

$$\text{Opazität} = \frac{100 \%}{100 \%} = 1$$

Durch Logarithmieren erhält man den Wert der optischen Dichte:

$$\text{Optische Dichte} = \lg 1 = 0$$

Durch die Nullung wird erreicht, dass das Densitometer für die unbedruckte Bedruckstoffoberfläche keine Dichte anzeigt. Die anschließend gemessenen Farbdichtewerte sind allein auf die Druckfarbe zurückzuführen.

Beispiel 2: Bei einer Abstrahlung von 75 %, die z. B. ein Rastertonwert mit 25 % hat, ergibt sich die Dichte folgendermaßen (vgl. Abbildung 2.7 a)):

$$\text{Opazität} = \frac{100 \%}{75 \%} = 1,33$$

$$\text{Optische Dichte} = \lg 1,33 = 0,12$$